

precipitaciones, pero a principios de mayo un tiempo seco poco común se extendió sobre gran parte de una porción de Europa occidental y central, extendiéndose a finales del mes a toda Europa central y meridional. El peligro de sequía remitió con las lluvias de mediados de junio.

Las temperaturas fueron superiores a las normales sobre Europa y el norte de Africa, desde principios de julio hasta finales de agosto, y a esto siguió un tiempo frío poco usual sobre gran parte de Europa oriental, desde finales de octubre hasta finales de noviembre. En diciembre, las condiciones anormalmente frías se limitaron a Finlandia, a Grecia y al Medio Oriente. A finales de año prevalecían los déficits de precipitación sobre el sur de Europa.

### **Australia**

Los dos tercios de Australia oriental tuvieron un tiempo anormalmente seco durante enero y principios de febrero. Hacia mediados de febrero se registraron condiciones próximas a lo normal, pero en general las condiciones cálidas y secas finalizaron con las fuertes lluvias de finales de marzo.

Durante el invierno del hemisferio sur (junio a agosto de 1988) la mayor parte de Australia oriental tuvo una precipitación superior a la normal. Dada la tendencia positiva del IOS a lo largo del año, esta situación era esperada. Sin embargo, condiciones secas y cálidas poco habituales persistieron durante seis semanas, en la primavera, en numerosas zonas de Australia oriental hasta que lluvias moderadas a fuertes, durante la mitad y finales de noviembre, aliviaron la situación. La precipitación en esta zona durante diciembre fue normal o ligeramente superior a ésta.

K. D. D.

## **UN ESTUDIO DE LA HIDROLOGIA OPERATIVA EN LA OMM**

Por O. STAROSOLSZKY\*

*La Hidrología es la ciencia que trata del agua que se halla por encima y por debajo de la superficie terrestre, su aparición, circulación y distribución, tanto en la cronología como en el espacio, sus propiedades biológicas, químicas y físicas y sus reacciones con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos<sup>1</sup>.*

El agua es una sustancia simple pero extraordinaria. Cubre las dos terceras partes de la superficie de la Tierra y es básicamente necesaria para toda la vida. La disponibilidad de suministros de agua potable ha sido siempre un factor crucial en el desarrollo de las naciones y su dependencia no disminuirá en el futuro.

---

\* Este artículo es una adaptación del discurso presidencial del Dr. Starosolszky a la octava reunión de la Comisión de Hidrología (*Boletín de la OMM* 38 (2) pp. 134-138).

Los recursos hídricos totales de nuestro planeta son los siguientes:

Conjunto de toda el agua dulce	$35 \times 10^6 \text{ km}^3$ (2,5% del total)
Agua superficial (lagos, embalses, ríos)	$3,8 \times 10^6 \text{ km}^3$ (0,27% del total)
Escorrentía anual	$46\ 800 \text{ km}^3$
Tiempo medio de residencia en los ríos	16,5 días
Tiempo medio de residencia en los lagos	17 años

El mapa de la *figura 1* (debido a Shiklomanov<sup>2</sup>) muestra, a *grosso modo*, las zonas terrestres con un excedente neto y un déficit neto de agua superficial. Esta disparidad entre las cantidades de agua de las que puede disponerse en las distintas partes del mundo indica que son de gran importancia las funciones de la administración nacional del agua.

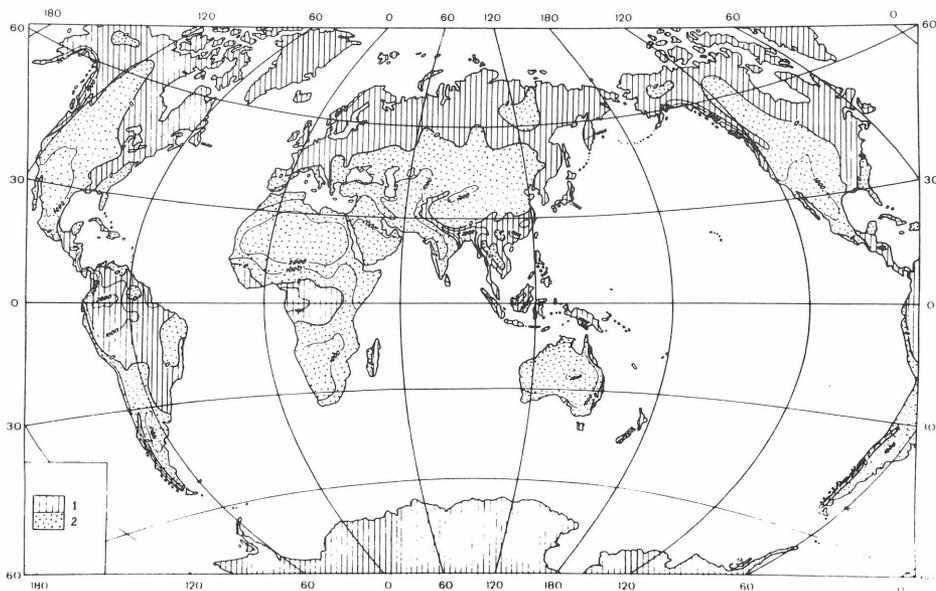


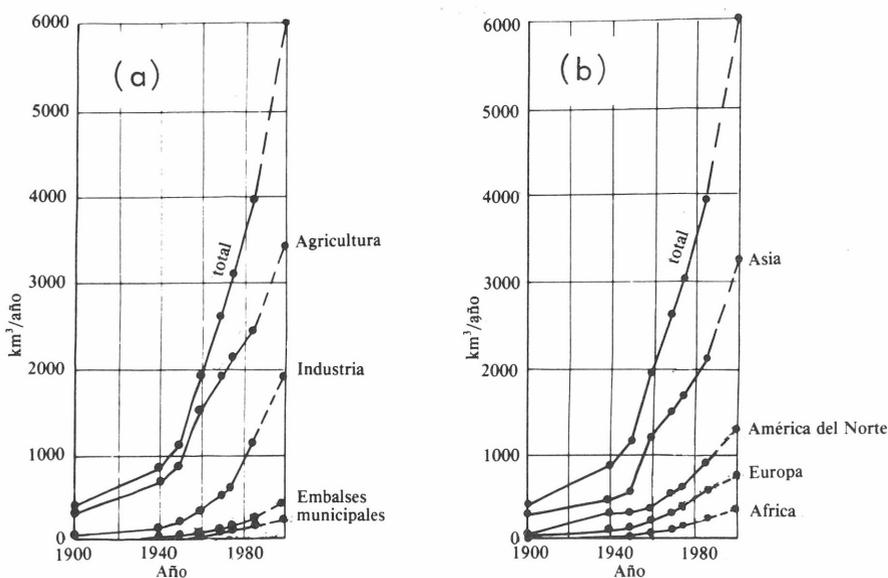
Figura 1. - Zonas con excedente (1) y déficit (2) de agua (mm, según Shiklomanov).

Las siguientes tablas compuestas muestran las cantidades de agua utilizadas (a), y consumidas (b) (es decir, el agua que no es posible reutilizar). En 1984, la mayor parte del agua se destinó a usos agrícolas e industriales, sólo cerca del 7,5 por ciento fue para fines domésticos.

**Tabla 1 - Uso y consumo del agua efectivo y previsto**

(en km<sup>3</sup>)

En 1984			En el año 2000 (previsto)		
	Usados	Consumidos		Usados	Consumidos
TOTALES	4000	2200	TOTALES	6000	3000
<i>Fin</i>			<i>Continentes</i>		
Doméstico	300	150	Africa	400	250
Industrial	1200	150	Asia	3200	2000
Agricultura	2500	1900	Europa	800	250
			América del Norte	1300	300
			América del Sur y otras partes	300	200



**Figura 2.** - El creciente volumen de agua usada en el mundo: (a) por sectores, y (b) por regiones, según Shiklomanov.

Como se pone de manifiesto en la *figura 2*, la cantidad de agua usada ha aumentado mucho en los últimos años como resultado de un desarrollo social, agrícola e industrial. A comienzos de este siglo el volumen de agua usada era solamente una décima parte de la que se está usando en la actualidad y a finales del siglo se espera que la demanda alcance los 6000 km<sup>3</sup> por año. Hoy es difícilmente concebible el desarrollo económico y social sin el uso racional de los recursos hídricos. Para enfrentarse a las crecientes necesidades de agua para producir alimentos y energía puede ser necesario transferir suministros mediante conducciones gigantescas y almacenar agua en embalses. Además, considerando que en el pasado fueron las propiedades físicas del agua a las que se concedió mayor importancia, en la actualidad se está otorgando más y más importancia a sus propiedades químicas y biológicas, debido a la necesidad de una administración del agua que resulte más medioambiental. Estos hechos indican la necesidad de mejorar la ciencia de la hidrología y sus aplicaciones.

*La hidrología en la práctica: el papel de la OMM*

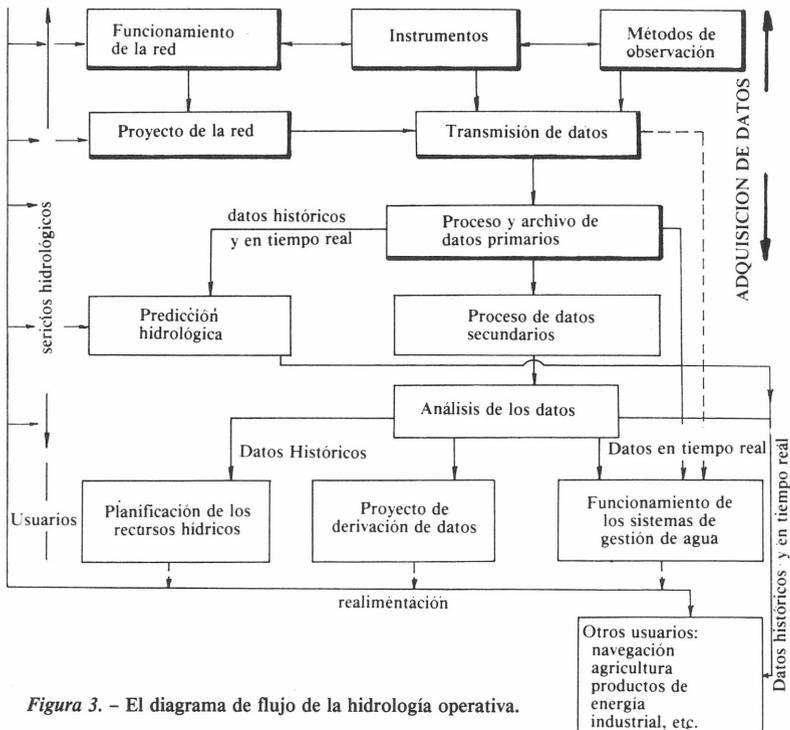
Las mismas leyes básicas de conservación de la masa y la energía rigen el movimiento tanto del aire como el agua y puede considerarse a la meteorología y la hidrología como ciencias hermanas. Sin embargo, muestran algunas diferencias fundamentales respecto a las condiciones en los límites, las escalas de los fenómenos y la forma en que se practican (véase *Tabla 2*).

**Tabla 2 – Características de la meteorología y la hidrología**

	<i>Meteorología</i>	<i>Hidrología</i>
Materia	Aire (atmósfera)	Agua (hidrosfera)
Principios fundamentales	Conservación de la masa y la energía	
Condiciones en los límites	2 ó 3 dimensiones	1, 2 ó 3 dimensiones
Fenómenos: escalas	Mundial o continental	Continental, cuenca fluvial
velocidad de movimiento	Media y rápida	Lenta y media
Servicios	Solamente nacionales	Distribuidos nacionalmente
Enseñanza	Fundamentalmente orientada a las ciencias naturales; Específica	Fundamentalmente orientada a la ingeniería; Diversificada

De acuerdo con el Convenio de la OMM, uno de los fines de la Organización es “promover actividades en hidrología operativa y una más estrecha colaboración entre los Ser-

HIDROLOGIA OPERATIVA



*Figura 3. – El diagrama de flujo de la hidrología operativa.*

vicios Meteorológicos e Hidrológicos”. Parafraseando el pasaje pertinente del Reglamento Técnico de la OMM, la hidrología operativa puede definirse como la medida de los elementos hidrológicos fundamentales, la adquisición y el proceso de datos, la predicción hidrológica y el desarrollo y la mejora de los métodos, procedimientos y técnicas pertinentes. El concepto se describe esquemáticamente en la *figura 3* (Starosolszky <sup>3</sup>). Los datos hidrológicos corresponden a la cantidad y calidad del agua tanto superficial como subterránea.

La importancia de las actividades en hidrología operativa puede juzgarse por el hecho de que funcionan más de 150 000 estaciones pluviométricas, 60 000 estaciones de medida de caudal y 10 000 estaciones evaporimétricas, mantenidas por los servicios hidrológicos en todo el mundo, además de miles de estaciones de medida de sedimentos y de calidad del agua (*Tabla 3*). Las importantes inversiones hechas en la administración del agua y el valor intrínseco del agua para la raza humana son razones que obligan a dar un gran apoyo a las funciones de los servicios hidrológicos.

**Tabla 3 – Tipo y número de estaciones hidrológicas**

Precipitación	172 000
Evaporación	10 000
Limnimétricas	39 000
Caudal	60 000
Sedimentos en suspensión	14 000
Calidad del agua	52 000
Agua subterránea	203 000

En la OMM, estas actividades pertenecen al Programa de Hidrología y Recursos Hídricos (PHRH), cuyo objetivo general es fomentar la normalización y el intercambio internacional de información sobre estimaciones y predicciones de la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, tanto con fines de suministro de agua como para mitigar las inundaciones y peligros asociados. El Programa de Hidrología Operativa, una de las tres componentes del PHRH, se lleva a cabo fundamentalmente mediante la Comisión de Hidrología (CHi).

Cada cuatro años el Congreso Meteorológico Mundial adopta un presupuesto para el siguiente período financiero de cuatro años. La proporción del gasto total concedido al PHRH ha permanecido entre el cuatro y el cinco por ciento. Los Miembros con Servicios Hidrometeorológicos (es decir, meteorológicos e hidrológicos juntos) son probablemente los mejor dispuestos para juzgar, basándose en sus propios desembolsos, si este prorratio es adecuado. En cualquier caso parece cierto que el principal impedimento para progresar en el PHRH es su financiación insuficiente.

### *La Comisión de Hidrología*

Durante el período que ha transcurrido hasta la octava reunión de la CHi, en 1988, los 111 Miembros de la OMM estuvieron representados por un total de 209 expertos. Hubo cuatro grupos de trabajo (grupo asesor/comité director del HOMS; instrumentos y métodos de observación; sistemas de recopilación, proceso y transmisión de datos; modelos y predicción), y diez ponentes individuales. Además, los países Miembros designaron un total de 80 ponentes asociados, quienes podían ser requeridos por el Presidente de la Comisión para colaborar en tareas específicas.

Desde que se creó la CHi en 1961, el tamaño y la representatividad de la Comisión ha aumentado continuamente. Más de los dos tercios del total de países Miembros de la OMM han enviado entre uno y seis expertos para trabajar en la CHi. Las Regiones III a VI de la OMM están bien representadas, África y el Oriente Medio mucho menos. Aunque

los países de esas partes del mundo experimentan graves problemas de recursos hídricos, la escasez relativa de agua superficial puede explicar porqué hay pocos hidrólogos y pocos servicios hidrológicos. Las lagunas geográficas existentes entre los miembros de la CHI están, en consecuencia, justificadas.

Si analizamos más de cerca la composición de los miembros, encontraremos que en el caso de muchos países los representantes proceden del Servicio Meteorológico (o Hidrometeorológico). Esto es debido a que la meteorología a nivel nacional es normalmente la tarea del Servicio Meteorológico, mientras que puede no haber institución nacional comparable para la hidrología o, si existe, sus atribuciones pueden ser muy restrictivas. El manual del Servicio de Referencia de Información Hidrológica de la OMM (INFOHYDRO) es un medio útil para encontrar el estado de los servicios hidrológicos y las actividades en todo el mundo.

Dentro de la OMM, la Comisión ha estrechado vínculos interactivos con los grupos de trabajo hidrológicos de las asociaciones regionales y con otras comisiones técnicas: con la CSB respecto a las redes de estaciones, la transmisión y el proceso de datos; con la CIMO en relación con la instrumentación y los métodos de observación; con la CCI respecto a los datos climatológicos, el Programa Mundial sobre el Clima y el medio ambiente; con la CCA en temas referentes a la predicción hidrológica, la contaminación, la calidad del agua y el medio ambiente; con la CMAG en relación con las aguas subterráneas, la humedad del suelo y la evaporación; con la CMM sobre los problemas asociados a las zonas costeras y estuarios.

En lo que se refiere a los vínculos entre la OMM y otras organizaciones dentro del campo de la hidrología y los recursos hídricos, éstos se extienden a distintos órganos de las Naciones Unidas (con comisiones regionales económicas (sociales), con la UNICEF) y a la Unesco, la FAO, la OMS, la UNIDO, el PNUMA, la OIEA, el PNUD y el Banco Mundial. Ejemplos de otros organismos internacionales con los que coopera la CHI incluyen la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, la Comunidad Económica Europea, el Centro Árabe de Estudios de las Zonas Áridas y Tierras Secas y muchas comisiones fluviales internacionales; entre los organismos no gubernamentales pueden citarse la Organización Internacional de Normalización, el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados y numerosas asociaciones afiliadas al CIUC, en particular la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas de la UIGG.

### *La estructura de la CHI*

La Comisión de Hidrología acordó crear su Grupo de trabajo asesor que continúa sirviendo como comité director del HOMS (véase más adelante) y hay tres grupos de trabajo, orientados a temas, compuestos por ponentes sobre materias específicas:

*Grupo de trabajo sobre sistemas de adquisición y proceso de datos.* – El presidente, más ponentes en: diseño y operación de redes hidrológicas; observaciones de agua subterránea; observaciones de agua superficial; microelectrónica para instrumentos hidrológicos; proceso de datos primarios; bancos de datos y sistemas de difusión.

*Grupo de trabajo sobre predicción hidrológica y aplicaciones a la administración del agua.* – Ponentes en: predicción de la calidad del agua (presidente); predicción hidrológica; modelos hidrológicos; teledetección para fines hidrológicos; datos de entrada para modelos hidrológicos; sistemas expertos en hidrología operativa.

*Grupo de trabajo sobre hidrología operativa, el clima y el medio ambiente.* – Ponentes en: PMC-Agua (presidente); evapotranspiración; estimaciones reticulares y sistemas de formación geográfica; modelización hidrológica para estudios climáticos; la hidrología operativa y el cambio climático; aspectos hidrológicos de la sequía.

Los ponentes individuales de la Comisión tienen los siguientes campos temáticos: control de la calidad del agua; transporte de sedimentos; modelización del agua subterránea; el HOMS; la *Guía de prácticas hidrológicas*; normalización y el Reglamento Técnico; servicios hidrológicos; formación profesional en hidrología; hidrología operativa de lagos y embalses; hidrología operativa en zonas urbanas; sistemas de datos del uso del agua; interacciones hidrológicas en la superficie terrestre.

### *Principales actividades dentro del Programa de Hidrología y Recursos Hídricos*

Entre los proyectos más importantes están las series de intercomparaciones que se han hecho o se van a hacer: instrumentos hidrológicos (11 participantes); modelos de precipitación y escorrentía de la fusión nival bajo condiciones simuladas de tiempo real (12 participantes); técnicas de diseño de redes (siete participantes); modelos de evapotranspiración en un área; y estimaciones de la red hidrológica básica.

El **Subprograma de Hidrología Operativa para Fines Múltiples (HOMS)**, iniciado en 1979, proporciona una transferencia institucionalizada de tecnología hidrológica, normalmente en forma de *software* para ordenador, documentación técnica o instrumentación. Un elemento individual para intercambio se conoce como un componente, y una serie de componentes pueden formar una secuencia. Ejemplos típicos de componentes son las instrucciones para construir una estación de aforo, un manual para estimar el caudal máximo, el *software* para proceso de datos o un programa de predicción hidrológica. Se dispone actualmente de 386 componentes y 11 secuencias y todas ellas están descritas en el *Manual de Referencia del HOMS*, del cual se ha publicado una segunda edición a principios de 1989. Los Miembros han establecido hasta ahora 104 Centros Nacionales de Referencia del HOMS y hay seis puntos focales regionales. Se ha registrado ya un total de 1600 transferencias de componentes.

### *Las herramientas del hidrólogo para su profesión*

El hidrólogo operativo de hoy utiliza las ecuaciones diferenciales que describen los fenómenos del flujo y del transporte con la ayuda de coeficientes empíricos, métodos numéricos y un ordenador adecuado. La modelización de canales abiertos y corrientes de agua subterránea (en especial las inundaciones) y la humedad del suelo en zonas no saturadas se han convertido en esenciales. Los modelos estadísticos se utilizan ampliamente en el proceso de datos y se aplican igualmente modelos determinísticos o estocásticos en el análisis.

Las técnicas de optimización en el diseño de redes han llegado en la actualidad a ser operativas y la adquisición de datos en tiempo real y la transmisión han sido facilitadas en gran manera por la moderna tecnología de los microcircuitos. Los ordenadores personales son muy útiles para el proceso de datos y la compilación de bases de datos.

### *El futuro*

La ciencia y la tecnología de las que depende la hidrología operativa están en constante evolución y no es fácil predecir qué nos traerá el futuro. Los planes a largo plazo de la OMM intentan prever las principales características con un decenio de anticipación en cada Congreso y el plan actual para el PHRH tiene tres vías principales: el Programa de Hidrología Operativa (incluyendo el HOMS), las aplicaciones y servicios para los recursos

hídricos, y la cooperación con los programas relacionados con el agua de otras organizaciones internacionales. Las actividades tienen como objetivos principales: (a) el desarrollo sistemático de componentes en hidrología operativa; (b) la colaboración con los patrocinadores, diseñadores y operadores de los proyectos relativos al agua; (c) la estimación de los impactos antropogénicos sobre la hidrosfera; y (d) la prevención o mitigación de desastres naturales o inducidos por el hombre.

### Conclusión

La hidrología operativa se ha convertido en una disciplina y continúa desarrollándose en el sentido de que los recursos hídricos disponibles pueden satisfacer mejor las necesidades socioeconómicas de la población en expansión del planeta. Sin embargo, la tasa de progreso varía tanto en la cronología como en el espacio. Aunque el precepto en hidrología es la evolución mejor que la revolución, el advenimiento de muchos países a la tecnología moderna mediante la forma de microordenadores y ordenadores ha ocasionado cambios rápidos en las prácticas de hidrología operativa y en los métodos para la administración de los recursos hídricos. En este aspecto algunos países se hallan aún en una etapa inicial y allí la introducción de los métodos modernos no tendrá nada de revolucionario. Es responsabilidad de la CHI el que sus programas estén confeccionados adecuadamente para las necesidades de cada Miembro y al actuar así se espera con honradez que la eficacia de la Comisión se mantenga e incluso sobrepase su nivel actual.

### REFERENCIAS

- <sup>1</sup> CHOW, Ven Te: *Handbook of Applied Hydrology*; McGraw-Hill (1964), pp. 1-2.
- <sup>2</sup> SHIKLOMANOV, I.A.: "Large-scale water transfers". En: *Facets of Hidrology II* (Ed. J.C Rodda); John Wiley & Sons (1985).
- <sup>3</sup> STAROSOLSZKY, Ö.: In-depth report on the HWRP presented to the thirty-ninth session of the WMO Executive Council; OMM (1987).

## LA PRESA DE SALTO GRANDE

Por Charles E. LUCHESSA\*

Dos naciones de América del Sur han empleado años de planificación y de negociación para conjuntar esfuerzos en construir la extraordinaria presa de Salto Grande, en el río Uruguay, que forma su frontera. Durante los últimos nueve años, el proyecto hidroeléctrico para fines múltiples de 2,2 billones de \$ EE.UU., ha logrado éxito al reducir drásticamente el consumo local de petróleo y se ha convertido en modelo para proyectos similares en los países vecinos.

Aunque los estudios para la presa se remontan realmente a los primeros años de este siglo, fue en 1946 cuando Argentina (uno de los mayores Estados de Sudamérica) y Uruguay (uno de los más pequeños) decidieron construirla conjuntamente. Se creó un organismo gubernamental binacional, la *Comisión Técnica Mixta de Salto Grande*, para supervisar la construcción y la posterior gestión operativa de la presa. Fue la crisis mundial del petróleo, de principios de los años 70, la que dio el impulso final y comenzaron los trabajos de construcción en 1974.

---

\* Presidente, Sierra-Misco Inc., Berkely, California, EE.UU.